麦红吸浆虫随气流远距离扩散的轨迹分析

苗　进[1]，武予清[1,*]，郁振兴[1]，陈华爽[1]，刘顺通[2]，蒋月丽[1]，段　云[1]
(1. 河南省农业科学院植物保护研究所，河南省农作物病虫害防治重点实验室，郑州 450002；2. 洛阳市农业科学研究院，河南洛阳 471022)

摘要：为了解麦红吸浆虫 *Sitodiplosis mosellana* (Géhin)种群随气流远距离扩散的可能性和扩散方向，本研究于 2010 年 5 月在河南省洛阳市洛宁县，利用系留气球携带取样器调查了麦红吸浆虫种群在 5 ~ 75 m 高空的分布以及活动节律，应用 HYSPLIT-4 大气扩散模型模拟了 2010 年以洛宁县(34.35°N, 111.52°E)为起始点，空中不同高度层麦红吸浆虫种群的扩散轨迹，以及 2007 年麦红吸浆虫种群在我国北方麦区的扩散轨迹。结果表明：在成虫发生期，麦红吸浆虫在空中 5，45，50 和 65 m 4 个高度层种群密度较大，表现出了明显的成层效应。2010 年河南洛宁迁入的种群来自西南方的河南南阳地区，迁出种群能够随气流进入东北方向的河南省宜阳县境内。2007 年麦红吸浆虫种群能够随小麦发育期的先后，随西南气流逐步向东北方向扩散。成虫随气流扩散是麦红吸浆虫种群远距离扩散的一种重要方式。研究结果有助于了解我国麦红吸浆虫远距离扩散方式，同时对优化发生动态监测和综合治理提供参考。
关键词：麦红吸浆虫；小麦；种群扩散；气流；HYSPLIT 模型；扩散轨迹；高度分层
中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2011)04-0432-05

Trajectory analysis of long-distance dispersal of the wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae), with air current

MIAO Jin[1], WU Yu-Qing[1,*], YU Zhen-Xing[1], CHEN Hua-Shuang[1], LIU Shun-Tong[2], JIANG Yue-Li[1], DUAN Yun[1] (1. Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. Luoyang Academy of Agricultural Sciences, Luoyang, Henan 471002, China)

Abstract: To understand the probability and direction of long-distance dispersal of the wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin), populations with air current, we analyzed the profile of *S. mosellana* density that was determined with a series of balloon-supported yellow traps located vertically at altitudes from 5 - 75 m above ground level, and the internet-based HYSPLIT-4 (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model was used to simulate the dispersal trajectory of *S. mosellana* at various altitudes in Luoning (34.35°N, 111.52°E), Henan province in 2010 and in north China in 2007. The results indicated that the aerial densities of *S. mosellana* (number of individuals per trap) at altitudes of 5, 45, 50 and 65 m were higher than those at other altitudes, showing stratification according to altitude above ground. The immigration populations came from Nanyang, Henan province, and the emigration populations moved with airflow to Yiyang, Henan province in 2010. The wheat midge populations dispersed step by step from southwest to northeast with southwest air current in 2007. The dispersal with air current was an important way of long-distance dispersal of *S. mosellana*. The results may help realize the population expansion and provide a reference value for monitoring population dynamics and optimizing integrated management of *S. mosellana* in China.
Key words: *Sitodiplosis mosellana*; wheat; population dispersal; air current; HYSPLIT-4 model; dispersal trajectory; altitude stratification

麦红吸浆虫 *Sitodiplosis mosellana* (Géhin)是一种世界性的小麦害虫，主要分布在美国、加拿大、欧洲、俄罗斯和中国(Lamb *et al.*, 2000；Berzonsky *et al.*, 2003)，以幼虫潜伏在颖壳内吸食正在灌浆的汁液，造成麦粒瘪疮、空壳或霉烂而减产，具有很大的危害性，一般减产 10% ~ 20%，重者减产 30% ~ 50%，严重的乃至颗粒无收，全球每年因麦红吸浆虫的危害而造成的经济损失高达数亿美元(Doane and Olfert, 2008；Oakley, 2008)。近年来，国内外麦红吸浆虫的研究主要集中在寄主抗性(史忠良等, 2003)、预测预报(Bruce *et al.*, 2007；武予清等, 2009)和滞育机理(仵均祥等, 2003, 2004；

基金项目：国家现代农业产业技术体系建设专项资金(nycytx-03)
作者简介：苗进，男，1977 年生，河北迁安人，博士，助理研究员，研究方向为昆虫生态学，E-mail: miaojin1977@hotmail.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: yuqingwu36@hotmail.com
收稿日期 Received: 2010-11-13；接受日期 Accepted: 2011-02-25

成卫宁等，2008）等方面，而关于麦红吸浆虫种群扩散特别是远距离扩散方面的研究较少。有学者认为，麦红吸浆虫休眠体随河流扩散是其种群远距离扩散的主要方式（Olfert *et al.*，2009），高军等（2009）调查表明，联合收割机跨区作业能够携带和传播麦红吸浆虫，认为是除水流、成虫传播以外又一种传播麦红吸浆虫的重要途径。

昆虫有主动适应环境的能力。当寄主植物衰老、作物换茬，或其他原因引起寄主植物不再适宜生存或繁殖时，褐飞虱 *Nilaparvata lugens*（Stål）会分化出长翅型，麦蚜 *Sitobion avenae*（Fabricius）产生出有翅蚜，进行较远距离的迁飞，以寻找新的适宜生境（周福才等，2007）。在我国，由于气候的原因，小麦发育从南到北存在一定的时间差，这为麦红吸浆虫种群由南向北扩散提供了条件。麦红吸浆虫成虫身体纤弱，飞行力不强，但微风的天气，在离麦穗 10 cm 高飞翔时，一次可顺风飞行达 40 m 以外（袁锋，2004）。麦红吸浆虫能否利用气流运动被动迁移，从而实现其种群远距离扩散？本文利用高空系留气球结合地面网捕监测空中和地面麦红吸浆虫的种群动态，应用美国国家大气海洋局 NOAA 开发的大气质点轨迹分析 HYSPLIT 平台对麦红吸浆虫种群随气流远距离扩散进行了轨迹模拟，以期阐明麦红吸浆虫种群远距离扩散的规律，区域扩散的路径，为小麦吸浆虫的动态监测和综合治理提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验器材

系留气球，由北京空军航空气象研究所提供，充气后体积为 25 m^3，最大升空高度 100 m；氦气，由河南源正科技发展有限公司提供；黄板，由佳多科工贸公司提供；HYSPLIT 软件来自 http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php。

1.2　试验方法

麦红吸浆虫空中种群动态监测：实验地点选在河南省洛阳市洛宁县孙洞村（34.35°N，111.52°E）实验基地。2010 年 5 月 1 – 19 日，麦红吸浆虫成虫发生期，释放系留气球，释放高度 90 m，为避免气球高空随风大幅度摆动，用 3 根等长锦纶绳子 3 点固定，中间垂下一根绳子固定黄板。绳子上每 5 m 设置黄色圆柱形粘虫板（直径 25 cm，高 60 cm），为避免气球影响，最高设置点为离地 75 m。每天释放和回收 2 次（6:00 – 18:00 和 18:00 – 次日 6:00），回收后统计各高度黄板上麦红吸浆虫的数量。

麦红吸浆虫地面种群动态监测：每日 18:00 麦红吸浆虫成虫活动高峰期，用捕虫网捕捉麦红吸浆虫成虫，以 5 点取样法，每点沿麦行挥舞 10 复网，统计并记录每个取样点麦红吸浆虫的数量。

1.3　数据处理与统计分析

利用麦红吸浆虫空中种群在一天中的活动节律，分析麦红吸浆虫一次起降的时间，并将粘有麦红吸浆虫黄板的高度数据导入 HYSPLIT 软件，利用 HYSPLIT 前向（迁入）和后向（迁出）轨迹模式及当日的气象数据，以试验基地作为起始点，模拟麦红吸浆虫种群的扩散路线。

根据 2007 年小麦扬花期从南到北的时间顺序，利用当时的气象数据和 HYSPLIT 后向轨迹模式，模拟 2007 年麦红吸浆虫种群以河南省南阳市方城县（33.05°N，112.35°E）为起始点在我国的扩散路线。

文中所用地图来源于 Google Earth 免费软件。

2　结果与分析

2.1　麦红吸浆虫在空中的分布及活动节律

利用系留气球监测表明，在成虫发生期，5 ~ 75 m 各高度层均有麦红吸浆虫的分布，其中 5，45，50 和 65 m 4 个高度层种群密度较大。同时，夜间（18:00 – 6:00）的数量较大，而白天（6:00 – 18:00）数量极少（图 1），据此推测，麦红吸浆虫随气流扩散一次起降的周期不超过 12 h。

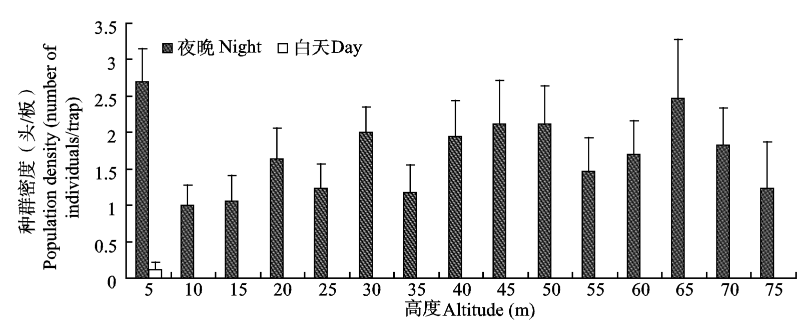


图 1　白天和夜晚空中不同高度层麦红吸浆虫的种群密度（2010 年，洛宁）

Fig. 1　Density of *Sitodiplosis mosellana* in airborne at different altitudes on day and night (2010, Luoning)

2.3 空中和地面麦红吸浆虫的种群动态

在成虫发生期，空中和地面麦红吸浆虫的种群动态存在明显的差异(图 2)。在空中，5 月 1 – 7 日种群密度较低，5 月 9 日突然达到高峰，种群密度高达 4 头/板，之后种群密度逐渐下降，5 月 17 日出现第 2 个高峰，种群密度为 4.1 头/板。在地面，5 月 1 – 9 日麦红吸浆虫种群密度缓慢上升，11 日种群密度突然升高，达到 427 头/10 复网，之后缓慢下降，至 17 日骤然降至 18 头/10 复网。对比空中和地面麦红吸浆虫的种群动态，11 日田间种群突然升高应与 5 月 9 日空中出现的种群高峰有关，据此推断，9 日空中出现的种群高峰可能是由外地种群随气流迁入造成，而 17 日空中出现第 2 次种群高峰时，田间种群密度急剧下降，应与当地麦红吸浆虫的迁出有关。

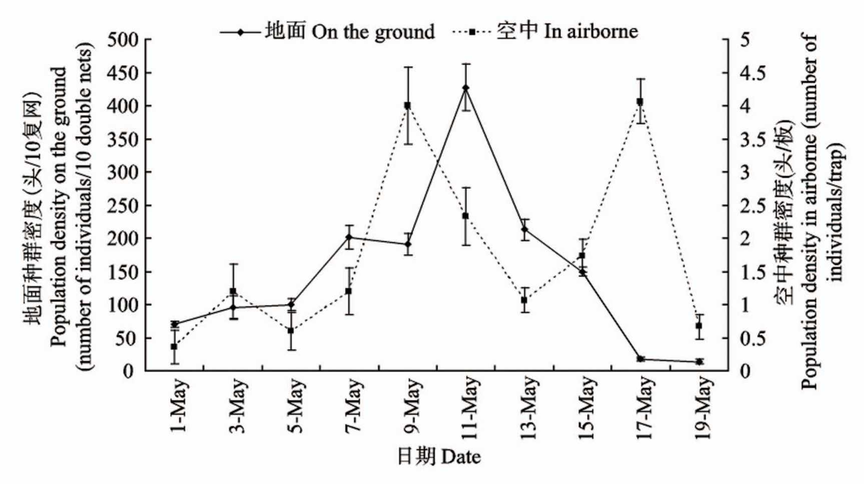


图 2 麦红吸浆虫在地面和空中的种群动态(2010 年，洛宁)

Fig. 2 Density dynamics of *Sitodiplosis mosellana* on the ground and in airborne (2010, Luoning)

2.4 麦红吸浆虫随气流扩散的轨迹分析

利用 HYSPLIT 后向(迁入)轨迹模型，模拟洛宁实验点 5 月 9 日 6:00 之前 12 h 内麦红吸浆虫的迁入轨迹表明，虫源来自河南省南部的南阳地区。在虫源地以 5, 40 和 75 m 高度起始扩散，直线扩散距离分别为 118, 148 和 156 km(图 3)。利用 HYSPLIT 前向(迁出)轨迹模型，分析 5 月 16 日 18:00 之后 12 h 内洛宁实验点上空 5, 40 和 75 m 的虫源的迁出轨迹，表明麦红吸浆虫种群向东北方向扩散进入了洛阳市宜阳县境内，直线扩散距离分别为 57, 62 和 69 km(图 4)。

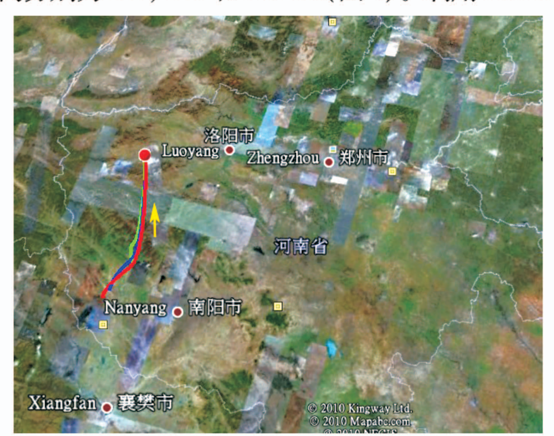


图 3 2010 年 5 月 9 日洛宁实验点麦红吸浆虫模拟迁入路径

Fig. 3 The backward trajectory of immigration population of *Sitodiplosis mosellana* in Luoning on May 9, 2010

红线 Red line: 75 m; 蓝线 Blue line: 40 m; 绿线 Green line: 5 m. 黄色箭头表示扩散方向 The yellow arrow showed the dispersal direction. 下同。The same below.

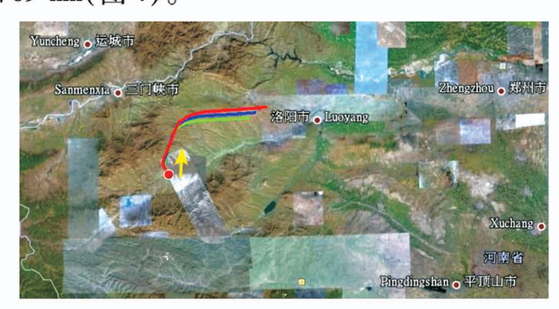


图 4 2010 年 5 月 17 日洛宁实验点麦红吸浆虫模拟迁出路径

Fig. 4 The forward trajectory of immigration population of *Sitodiplosis mosellana* in Luoning on May 17, 2010

2.5 2007 年麦红吸浆虫种群扩散路线分析

利用 HYSPLIT 模型和 2007 年的气象数据，根据小麦扬花期由南到北的时间顺序，以河南省南阳市方城县为起始点，模拟了麦红吸浆虫种群在我国北方麦区的扩散路线(图 5)。结果表明，2007 年 4 月 16 日(方城县小麦已进入扬花盛期)，以方城县

为起点的麦红吸浆虫种群 12 h 后能够扩散至东北方向的河南省漯河地区，20 日漯河地区小麦进入扬花期后，自漯河迁出的种群 12 h 后能够扩散到东北方向的商丘地区，24 日自许商丘迁出的种群能够向北扩散至河南省北部安阳和河北省南部的邯郸地区，27 日自河北邯郸地区迁出的种群能够随气流扩散至河北中部的保定附近，5 月 1 日自保定迁出的种群能够扩散到天津和河北唐山地区（目前麦红吸浆虫分布的北界）。

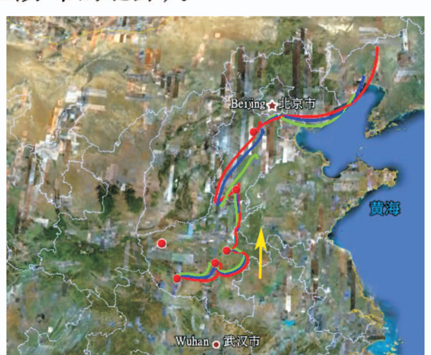


图 5　2007 年 4 月 16 日 – 5 月 7 日麦红吸浆虫种群在我国北方麦区模拟扩散路线

Fig. 5　The immigration trajectory of *Sitodiplosis mosellana* in wheat area of Northern China from April 16 to May 7, 2007

3　讨论

依靠气流迁飞和扩散是一个被动而复杂的过程，包括起飞、扩散和沉降 3 个过程（王海光等，2009）。昆虫必须通过自主飞行或被气流抬升至一定高度，才能随大气环流进行远距离迁飞和扩散。蚜虫近距离扩散行为多在低空飞行，远距离的迁飞则需要它进入较高的空间。Reynolds 等（1999）在印度的东北部用系留气球支撑的取样器在 150 m 高空捕集到了棉蚜 *Aphis gossypii*；Isard 等（1990）通过航捕发现蚜虫在大气层的逆温层上有成层分布现象。本研究利用氦气球支撑取样器在 5 ~ 75 m 的各高度层均捕捉到了麦红吸浆虫成虫，说明麦红吸浆虫种群最少能够上升至 75 m 的高空，具备随气流远距离扩散的条件。

随气流扩散昆虫在空中的活动节律，包括起飞时间、降落时间和 1 次起降的持续时间等，都是利用 HYSPLIT 模型研究昆虫迁飞扩散的重要参数，它关系到昆虫种群的扩散方向和扩散距离。研究结果表明，只有在夜间（18:00 – 6:00）能够监测到麦红吸浆虫在高空中活动，而白天（6:00 – 18:00）数量极少，说明麦红吸浆虫从起飞到降落的过程均发生在夜间（18:00 – 6:00），1 次扩散的时间应不超过 12 h，这可能与麦红吸浆虫的生活习性和气流的垂直运动密切相关。Taimr 和 Kriz（1978）报道忽布疣蚜 *Phorodon humuli* 迁飞到一个寄主场所后不再进一步长距离迁飞而是趋于定居和繁殖，麦红吸浆虫成虫寿命只有 3 ~ 5 d，也应不具备连续远距离扩散的能力。

风速和风向对昆虫迁飞的路径和迁飞的距离有极大的影响（刘向东等，2004）。麦红吸浆虫成虫的羽化时间与各地小麦抽穗的时间一致，大约在每年的 4 月中旬至 5 月上旬（2010 年由于长期低温的影响推迟 10 d 左右），此时在我国主要盛行西南季风，因此麦红吸浆虫种群会随气流向东北方向扩散，这与我们模拟的结果和麦红吸浆虫在我国分布区的变化趋势一致，进一步说明风是麦红吸浆虫种群远距离扩散的主要因素。风在蚜虫迁飞过程中的作用已有较多的观察结果，朱弘复和张广学（1956）研究出棉蚜在田间的扩散主要受地形的影响，因为地形会影响风向和风速从而造成棉蚜在田间的不均分布。麦红吸浆虫在田间成“岛屿式”的聚居分布（仵均祥等，2000），除与其生物学特性有关外，也可能是随风迁入时因为地形影响风向和风速从而造成田间的不均分布。

本文利用 HYSPLIT 模型分析麦红吸浆虫随气流的远程传播，明确了成虫随气流扩散是麦红吸浆虫种群一种重要的远距离扩散方式，为进一步优化麦红吸浆虫的预测预报技术、区域综合治理以及小麦品种布局等提供了参考。我国麦红吸浆虫的预测预报主要依靠农业部 2002 年发布的《小麦吸浆虫测报调查规范》（姜玉英等，2002）的淘土方法，该方法主要是通过当地的越冬虫源来预测成虫的发生量，没有考虑到成虫的迁入和迁出，导致预测预报的结果不准确和出现漏查现象（武予清等，2009）。推广利用黄色粘虫板监测麦红吸浆虫成虫的数量能够兼顾本地和迁入虫源，并能够很容易地扩大监测范围，从而进一步避免误报和漏报现象的发生。在麦红吸浆虫发生较早的南部麦区，通过种植抗虫品种以及化学防治等手段，控制麦红吸浆虫的种群数量，也能够在一定程度上减弱其种群向新发区的扩展速度和北部麦区的防治压力，通过区域治理的方式使我国麦红吸浆虫的防治更加高效和有序。

参 考 文 献（References）

Berzonsky WA, Ding H, Haley SD, Harris MO, Lamb RJ, McKenzie

RIH, Ohm HW, Patterson FL, Peairs FB, Porter DR, Ratcliffe RH, Shanower TG, 2003. Breeding wheat for resistance to insects. *Plant Breed. Rev.*, 22: 221 – 296.

Bruce TJA, Hooper AM, Ireland LA, Jones OT, Martin JL, Smart LE, Oakley J, Wadhams LJ, 2007. Development of a pheromone trap monitoring system for orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana*, in the UK. *Pest Manag. Sci.*, 63: 49 – 56.

Cheng WN, Wang HL, Li YP, Li JJ, Li XL, Wu JX, 2008. Change patterns of protective enzyme activities in pre-diapause, diapause, and post-diapause larvae of *Sitodiplosis mosellana* Gehin. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 19(8): 1764 – 1768. [成卫宁, 王洪亮, 李怡萍, 李建军, 李修炼, 仵均祥, 2008. 麦红吸浆虫滞育发生和解除过程中保护酶活力动态. 应用生态学报, 19(8): 1764 – 1768]

Doane JF, Olfert O, 2008. Seasonal development of wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae), in Saskatchewan, Canada. *Crop Protection*, 27: 951 – 958.

Gao J, Wang HJ, Wang CH, 2009. Investigation and analysis on the transmission of wheat blossom midge by cross-operating of combine harvester in Hebei province. *China Plant Protection*, 29(10): 5 – 8. [高军, 王贺军, 王朝华, 2009. 河北省小麦吸浆虫随联合收割机跨区作业传播的调查分析. 中国植保导刊, 29(10): 5 – 8]

Isard SA, Irwin ME, Hollinger SE, 1990. Vertical distribution of aphids (Homoptera: Aphididae) in the planetary boundary layer. *Environ. Entomol.*, 19: 1473 – 1484.

Jiang YY, Xie CJ , Zhang YJ , Liu WC, Gou JJ, 2002. Rules for the investigation and forecast of wheat blossom midge. Standards Press of China, Beijing. [姜玉英, 谢长举, 张跃进, 刘万才, 勾建军, 2002. 小麦吸浆虫测报调查规范. 北京: 中国标准出版社]

Lamb RJ, Tucker JR, Wise IL, Smith MAH, 2000. Trophic interaction between *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) and spring wheat: implications for yield and seed quality. *Can. Entomol.*, 132: 607 – 625.

Liu XD, Zhai BP, Zhang XY, 2004. Advance in the studies of migration of aphids. *Entomological Knowledege*, 41(4): 301 – 307. [刘向东, 翟保平, 张孝羲, 2004. 蚜虫迁飞的研究进展. 昆虫知识, 41(4): 301 – 307]

Oakley JN, 2008. Control needs for changing pest distribution. In: Arable Cropping in a Changing Climate: Proceedings of the HGCA Conference. Home Grown Cereals Authority (HGCA), United Kingdom. 87 – 92.

Olfert O, Elliott RH, Hartley S, 2009. Non-native insects in agriculture: strategies to manage the economic and environmental impact of wheat midge, *Sitodiplosis mosellana*, in Saskatchewan. *Biol. Invasions*, 11: 127 – 133.

Reynolds DR, Mukhopadhyay S, Riley JR, Das BK, Nath PS, Mandal SK, 1999. Seasonal variation in the windborne movement of insect pests over northeast India. *International Journal of Pest Management*, 45(3): 195 – 205.

Shi ZL, Qiu SY, Ma AP, Xu GH, Wu JP, Lu LH, 2003. Studies on the resistance mechanism of wheat to wheat midge. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 18(1): 100 – 102. [史忠良, 仇松英, 马爱萍, 许钢垣, 武计平, 逯腊虎, 2003. 冬小麦对麦红吸浆虫抗性机制研究初报. 华北农学报, 18(1): 100 – 102]

Taimr L, Kriz J, 1978. Post-migratory local flights of *Phorodon humuli* Schrank winged migrants in a hop-garden. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 85(3): 236 – 240.

Wang HG, Yang XB, Ma ZH, 2009. Case analysis of long-distance transports of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China using HYSPLIT-4 model. *Acta Phytopathol. Sin.*, 39(2): 183 – 193. [王海光, 杨小冰, 马占鸿, 2009. 应用 HYSPLIT-4 模式分析小麦条锈病菌远程传播事例. 植物病理学报, 39(2): 183 – 193]

Wu JX, Yuan F, Li YP, 2003. Studies on both larval status and nucleic acid contents of the wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Gehin). *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition)*, 31(6): 49 – 53. [仵均祥, 袁锋, 李怡萍, 2003. 麦红吸浆虫幼虫滞育状态及其核酸含量变化研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 31(6): 49 – 53]

Wu JX, Yuan F, Su L, 2000. Distribution and damaging characteristics of wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae) on wheat heads. *Acta Universitatis Agriculturalis Boreali-Occidentalis*, 28(4): 40 – 44. [仵均祥, 袁锋, 苏丽, 2000. 麦红吸浆虫在小麦穗上的分布和危害特点. 西北农业大学学报, 28(4): 40 – 44]

Wu JX, Yuan F, Su L, 2004. Change of carbohydrate contents in larvae of the wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Gehin) during mature and diapause stage. *Acta Entomol. Sin.*, 47(2): 178 – 183. [仵均祥, 袁锋, 苏丽, 2004. 麦红吸浆虫幼虫滞育期间糖类物质变化. 昆虫学报, 47(2): 178 – 183]

Wu YQ, Zhao WX, Jiang YL, Duan Y, 2009. Monitoring on adults of *Sitodiplosis mosellana* (Gehin) with yellow sticky traps. *Acta Phytophyl. Sin.*, 36(4): 381 – 382. [武予清, 赵文新, 蒋月丽, 段云, 2009. 小麦红吸浆虫成虫的黄色粘板监测. 植物保护学报, 36(4): 381 – 382]

Yuan F, 2004. The Wheat Blossom Midges *Sitodiplosis mosellana* (Gehin) and *Contarinia tritici* (Kirby): Their Plague Principle and Control. Science Press, Beijing. [袁锋, 2004. 小麦吸浆虫成灾规律与控制. 北京: 科学出版社]

Zhou FC, Wang Y, Li CM, Lu MX, Zhu SD, 2007. Effect of host species, host distance and population density on dispersal activity of *Bemisia tabaci*. *Acta Ecol. Sin.*, 27(11): 4913 – 4918. [周福才, 王勇, 李传明, 陆明星, 祝树德, 2007. 寄主种类、距离和种群密度对烟粉虱扩散的影响. 生态学报, 27(11): 4913 – 4918]

Zhu HF, Zhang GX, 1956. The immigration and dispersion of cotton aphids in cotton field. *Acta Entomol. Sin.*, 6(3): 253 – 270. [朱弘复, 张广学, 1956. 棉蚜在棉田中的发生和扩散. 昆虫学报, 6(3): 253 – 270]

(责任编辑: 袁德成)